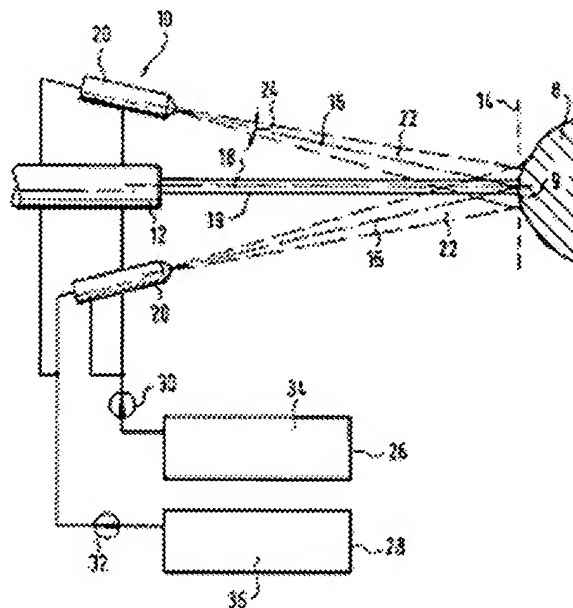


Laser device for removing material from biological surfaces - has liq.-gas spray units which intersect laser sepn. ensuring that surrounding areas are not dehydrated

Patent number: DE4138468
Publication date: 1993-06-03
Inventor: HIBST RAIMUND DR RER NAT [DE]; SCHROEDER DIRK DIPL ING [DE]; BACHMANN WERNER DIPL PHYS DR M [DE]; STEINER RUDOLF PROF DR RER NAT [DE]
Applicant: STIFTUNG FUER LASERTECHNOLOGIE [DE]
Classification:
 - international: A61B17/36; A61F9/00; B23K26/14; B23K26/18
 - european: A61B18/20; A61F9/008; B23K26/14D; B23K26/36
Application number: DE19914138468 19911122
Priority number(s): DE19914138468 19911122

Abstract of DE4138468

Laser treatment in which spray devices are arranged around the laser beam and emit a liquid-gas mixture stream which intersects the laser beam of the work position at the substrate. The spray unit is a ring nozzle (20) having an inner tube (38) feeding liquid (36) and an outer concentric tube feed a gas which atomises the liquid. The flow speeds of the liquid and gas can be regulated and are pref. 0.1-5 and 0.5-20 (pref. 2-10) l/min. respectively. The spray beam (22) is cone-shaped with an angle (24) of 3-20 deg.. The average distance of the spray units from the work plane (14) is adjustable. **USE/ADVANTAGE** - For cutting away tissue such as cornea, bone and cartilage tissue from a substrate which contains 2-90 vol.% water. The constant sparying of the work area forms a liquid film which prevents the surrounding areas, which are not to be affected by the laser from drying up.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①0 DE 41 38 468 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 23 K 26/18
B 23 K 26/14
A 61 B 17/36
A 61 F 9/00

②1 Aktenzeichen: P 41 38 468.7
②2 Anmeldetag: 22. 11. 91
④3 Offenlegungstag: 3. 6. 93

DE 41 38 468 A 1

⑦1 Anmelder:

Stiftung für Lasertechnologien in der Medizin an der
Universität Ulm, 7900 Ulm, DE

⑦4 Vertreter:

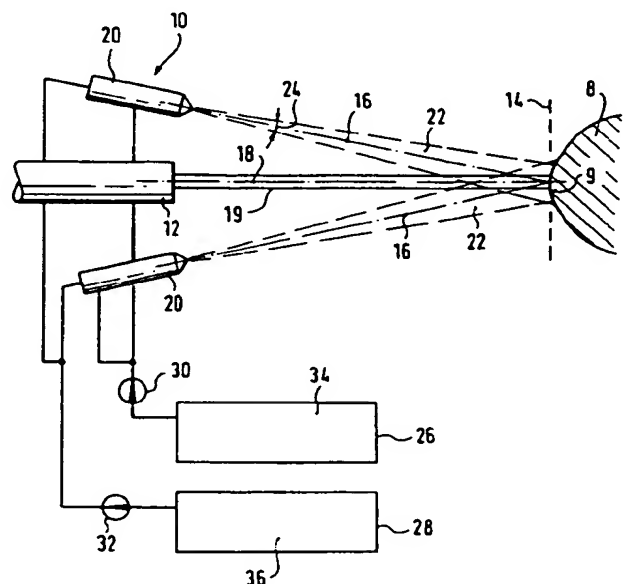
Schaumburg, K., Dipl.-Ing.; Thoenes, D., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat.; Englaender, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte,
8000 München

⑦2 Erfinder:

Hibst, Raimund, Dr.rer.nat., 7904 Erbach, DE;
Schröder, Dirk, Dipl.-Ing. (FH), 7910 Neu-Ulm, DE;
Bachmann, Werner, Dipl.-Phys., Dr.med., 7400
Tübingen, DE; Steiner, Rudolf, Prof. Dr.rer.nat., 7900
Ulm, DE

⑤4 Einrichtung und Verfahren zum Abtragen von Material von einem Substrat

⑤7 Beschrieben wird eine Einrichtung und ein Verfahren zum Abtragen von einem Substrat (8) mit einem Laser (12), der die Strahlung (19) auf eine die optische Achse (18) des Lasers (12) schneidende Arbeitsebene (14) aussendet, in der ein zu bearbeitender Abschnitt des Substrats (8) angeordnet werden kann. Das die Strahlung absorbierende Material wird erhitzt und verdampft oder mechanisch abgetrennt. Eine von der Arbeitsebene (14) beabstandete Sprühhvorrichtung (10, 20) erzeugt einen aus einem Flüssigkeits-Gas-Gemisch bestehenden kontinuierlichen Sprühstrahl (22), dessen Strahlachse (16) die optische Achse (18) des Lasers (12) in der Arbeitsebene (14) schneidet. Durch die Erfindung wird ein Materialabtrag mit hoher geometrischer Genauigkeit möglich.



DE 41 38 468 A 1

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Abtragen von Material von einem Substrat, mit einem Laser, der Strahlung auf eine die optische Achse des Lasers schneidende Arbeitsebene aussendet, in der ein zu bearbeitender Abschnitt des Substrats angeordnet werden kann, wodurch das die Strahlung absorbierende Material erhitzt und verdampft oder mechanisch abgetrennt wird.

Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Abtragen von Material von einem Substrat, wobei auf einen zu bearbeitenden Abschnitt des Substrats eine Strahlung eines Lasers gerichtet und das die Strahlung absorbierende Material erhitzt und verdampft oder mechanisch abgetrennt wird.

Eine solche bekannte Einrichtung bzw. ein solches Verfahren dient zum flächigen Abtragen von Material, z. B. von organischem Gewebe wie Hornhautgewebe des Auges, Knorpel oder Knochen. Als Material kommen aber auch Kunststoffe und andere organische Stoffe in Betracht, die Strahlung, beispielsweise Infrarotstrahlung, absorbieren.

Aufgrund dieser Absorption der Strahlung erwärmt sich das bestrahlte Material bis oberhalb seines Siedepunktes und verdampft oder es wird aufgrund der zugeführten Energie mechanisch abgetrennt. Ein günstiger Wirkungsgrad wird dann erzielt, wenn das Spektrum der vom Laser ausgesendeten Strahlung an das Absorptionsspektrum des Materials angepaßt ist. Zum Beispiel für den infraroten Teil des Spektrums ist Wasser ein wichtiger Absorber. Wird ein wasserhaltiges Material, beispielsweise Organisches Gewebe, mit der energiereichen Strahlung eines Lasers bestrahlt, so kann es vorkommen, daß an einigen Stellen des bestrahlten Gebietes das thermisch empfindliche Material während der Abtragung austrocknet. Insbesondere an der Oberfläche der durch Abtragen freigelegten Zone kann es zu einer solchen partiellen Austrocknung kommen. Es bilden sich trockene Inseln aus, die als Oberflächenirregularitäten negative Wirkungen hervorrufen können.

Wenn eine weitere Bestrahlung der freigelegten Oberfläche erfolgt, so werden die Inseln infolge fehlenden Wassers und damit fehlender Absorptionsfähigkeit nicht in ausreichendem Maße erhitzt und folglich nicht abgetragen. Die Inseln werden sogar größer und verhärten. Im Ergebnis erhält man nach dem Abtrag eine unregelmäßige Oberfläche, die den gewünschten Erfolg beeinträchtigt. So können beispielsweise beim Abtragen von Hornhaut des Auges zur Korrektur der Fehlsichtigkeit die dabei entstehenden Gewebeinseln die optische Qualität der Augenlinse verringern. Außerdem tritt in der Umgebung der Gewebeinseln eine thermische Schädigung des verbleibenden Gewebes auf, da die unregelmäßige Oberfläche eine ungleichmäßige Verteilung der Strahlungsenergie bewirkt.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Einrichtung und ein Verfahren zum Abtragen von Material von einem Substrat anzugeben, mit der bzw. mit dem ein Materialabtrag mit hoher geometrischer Genauigkeit möglich ist.

Diese Aufgabe wird für eine Einrichtung eingangs genannter Art dadurch gelöst, daß mindestens eine von der Arbeitsebene beabstandete Sprühvorrichtung vorgesehen ist, die einen aus einem Flüssigkeits-Gas-Gemisch bestehenden kontinuierlichen Sprühstrahl erzeugt, dessen Strahlachse die optische Achse des Lasers in der Arbeitsebene schneidet.

Beim Betrieb der Einrichtung trifft das Flüssigkeits-

Gas-Gemisch des Sprühstrahls auf den zu bearbeitenden Abschnitt des Substrats flächig auf, und es bildet sich durch Niederschlag der Flüssigkeit auf dem Abschnitt eine Flüssigkeitsansammlung aus. Diese wird insbesondere durch den nachströmenden Gasanteil im Sprühstrahl auseinandergetrieben, so daß ein Fließfilm mit konstanter Dicke und mit kontrollierter Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des auftreffenden Laserstrahls entsteht. Das nachströmende Gas bewirkt auch, daß die Oberfläche des Fließfilms geglättet wird. Seine Oberfläche hat dann annähernd optische Qualität, so daß der Laserstrahl, ohne optisch verzerrt zu werden, durch ihn zum Material hindurchdringen kann. Ein gleichmäßiger Materialabtrag ist somit gewährleistet, da das Intensitätsprofil des Laserstrahls über seinen Querschnitt durch den Fließfilm nicht verändert wird. Der zu bearbeitende Abschnitt wird gemäß der Erfindung kontinuierlich befeuchtet, so daß der Gefahr der Austrocknung einzelner Stellen des Abschnitts und somit der Inselbildung sowie einer Schädigung des zurückbleibenden Materials wirkungsvoll begegnet wird. Die nach dem Materialabtrag freigelegte Oberfläche des Substrats ist daher frei von Oberflächenunregelmäßigkeiten. Ein eventuell auf einen ersten Materialabtrag folgender weiterer Materialabtrag kann mit hoher geometrischer Präzision erfolgen, da ein definierter Ausgangszustand geschaffen worden ist. Als Ergebnis erhält man einen Materialabtrag innerhalb enger vorgegebener geometrischer Grenzen mit einer hohen Oberflächengüte der verbleibenden Oberfläche.

Als Sprühvorrichtung kann im einfachsten Fall eine Spraydose verwendet werden, die mit Gas und Flüssigkeit gefüllt ist und mittels einer Sprühdüse einen gerichteten Sprühstrahl erzeugt. Ferner können mit Pumpen betriebene Spritzapparate eingesetzt werden, die nach Art einer Spritzpistole arbeiten, wie sie beispielsweise zum Auftragen von Farbe verwendet wird.

Eine bevorzugte Weiterbildung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Sprühvorrichtung eine Ringspaltdüse enthält, die ein inneres Düsenrohr, dem Flüssigkeit zuführbar ist, und ein konzentrisch um das innere Düsenrohr angeordnetes äußeres Düsenrohr hat, dem Gas zum Zerstäuben der Flüssigkeit zuführbar ist.

Dadurch ist eine getrennte Luft- und Wasserführung bis zum Austritt am Ringspalt der Ringspaltdüse möglich. Die Durchsatzmengen von Gas und Flüssigkeit können somit auf einfache Weise unabhängig voneinander eingestellt werden.

Bei einer anderen Weiterbildung ist vorgesehen, daß der mittlere Abstand der Sprühvorrichtung von der Arbeitsebene und/oder der Einfallswinkel des Sprühstrahls auf die Arbeitsebene einstellbar sind.

Dadurch ist es möglich, die Strömungsgeschwindigkeit des Fließfilms, seine Lage in bezug auf den abzutragenden Abschnitt, seine Fläche und Dicke zu steuern. Dabei bestehen folgende Zusammenhänge: Eine Vergrößerung des Abstandes zwischen der Sprühvorrichtung und der Arbeitsebene bewirkt eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Fließfilm auf dem Substrat, mit der Folge, daß die Schichtdicke des Fließfilms zunimmt. Ein flacher Einfallswinkel bewirkt eine Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Flüssigkeits-Gas-Gemischs des Sprühstrahls relativ zum Abschnitt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit im Fließfilm nimmt dadurch zu, was zu einer Verringerung der Fließfilmdicke führt. Die Dicke des Fließfilms bestimmt neben weiteren optischen Stoffeigenschaften der Flüssigkeit die von ihm absorbierte

Strahlungsenergie. Durch Ändern der Schichtdicke des Fließfilms ist es also möglich, die zum Substrat durchgelassene Strahlungsenergie und damit die Abtragleistung des Lasers zu steuern.

Eine bevorzugte Weiterbildung ist dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Ringspaltdüsen vorgesehen sind, die konzentrisch zur optischen Achse des Lasers angeordnet sind. Durch diese Maßnahme wird die Arbeitsebene, in der sich das Substrat befindet, gleichmäßig aus mehreren Quellen besprüht, so daß eine große Fläche mit homogenem Fließfilm auf dem zu bearbeitenden Abschnitt entsteht. Die Sprühleistung der einzelnen Ringspaltdüsen kann dann auch bei hoher Gesamtleistung klein sein. Ferner ist bei einer anderen Weiterbildung vorgesehen, daß die Flüssigkeit bzw. der Flüssigkeitsfilm des Abschnitts einen die Strahlung des Lasers streuenden Stoff enthält.

Durch diese Maßnahme wird erreicht, daß das räumliche Strahlprofil des Laserstrahls durch Lichtstreuung im Flüssigkeits-Gas-Gemisch des Sprühstrahls oder im Flüssigkeitsfilm geglättet wird. Die über den Querschnitt des Laserstrahls vorhandenen räumlichen Intensitätsschwankungen werden dabei ausgemittelt. Aufgrund des gleichmäßigen Intensitätsverlaufs kann somit die Genauigkeit des Materialabtrags noch weiter erhöht werden. Außerdem läßt sich mit Hilfe des streuenden Stoffs die absorbierenden Moleküle im Flüssigkeitsfilm verdrängen und damit die Eindringtiefe der Strahlung in ihn erhöhen.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden an Hand der Zeichnungen erläutert. Darin zeigt:

Fig. 1 eine schematische Teildarstellung einer Einrichtung zum Abtragen von Material mit konzentrisch um einen Laser angeordneten Ringspaltdüsen,

Fig. 2 die Ausbildung eines Flüssigkeitsfilms auf dem Abschnitt eines Substrats, und

Fig. 3a, b eine graphische Darstellung von Strahlprofilen eines Laserstrahls über seinen Durchmesser.

In Fig. 1 ist in einer schematischen Darstellung eine Einrichtung zum Abtragen von Material von einem Substrat nach der Erfindung wiedergegeben. Die optische Achse 18 eines Lasers 12 schneidet eine Arbeitsebene 14 in einem rechten Winkel. In der Arbeitsebene 14 ist ein zu bearbeitender Abschnitt 9 eines Substrats 8 angeordnet, z. B. die Hornhaut eines Auges. Der Laser 12 sendet einen Laserstrahl 19 längs der optischen Achse auf den Abschnitt 9 aus. Als Laser 12 kann ein CO₂-Laser, ein Neodym-Laser, ein Thulium-Laser, ein Holmium-Laser oder ein Erbium-Laser eingesetzt werden. Vorzugsweise wird als Laserstrahlung gepulste Infrarotstrahlung im Bereich von 1,3 bis 15 µm verwendet, die von Wasser gut absorbiert wird. Der typische Durchmesser des Laserstrahls 19 liegt bei einigen mm, beispielsweise bei ca. 5 mm. Jedoch kann dieser Durchmesser durch optische Vorsatzgeräte (nicht dargestellt) in einem weiten Bereich verändert und an die Geometrie des Substrats 8 bzw. an das abzutragende Gebiet angepaßt werden.

Konzentrisch zur optischen Achse 18 sind mehrere Ringstrahldüsen 20 einer Sprühvorrichtung 10 angeordnet, von denen zwei in der Fig. 1 dargestellt sind. Die Ringspaltdüsen 20 werden aus einem Luftdruckbehälter 26 mit Luft 34 und aus einem unter Druck stehenden Flüssigkeitsbehälter 28 mit Wasser 36 gespeist. Anstelle von Wasser 36 kann auch eine Kochsalzlösung verwendet werden.

Mit Regulierventilen 30, 32 können die den Ringspaltdüsen 20 zuzuführenden Durchflüßmengen an

Wasser 36 bzw. Luft 34 pro Zeiteinheit unabhängig voneinander eingestellt werden. Die Ringspaltdüsen 20 erzeugen jeweils einen kontinuierlichen Sprühstrahl 22, dessen Strahlachse 16 die optische Achse 18 des Lasers 12 in der Arbeitsebene 14 schneidet. Die Sprühstrahlen 22 haben Öffnungskegel mit an die Fläche des Abschnitts 9 angepaßtem Kegelwinkel 24, so daß im Bereich der auftreffenden Strahlung des Laserstrahls 19 eine ausreichende Versorgung mit dem Luft-Wasser-Gemisch gewährleistet ist.

In Fig. 2 sind weitere Einzelheiten der Einrichtung nach Fig. 1 dargestellt, wobei zur besseren Übersicht nur eine Ringspaltdüse 20 eingezeichnet ist. Die Ringspaltdüse 20 besteht aus einem inneren Düsenrohr 38, dem Wasser 36 unter Druck zugeführt wird. Das innere Düsenrohr 38 ist von einem äußeren Düsenrohr 40 umgeben, das sich in seinem vorderen Abschnitt 41 verjüngt. Dem zwischen dem inneren Düsenrohr 38 und dem äußeren Düsenrohr 40 gebildeten Raum wird Luft 34 unter Druck zugeführt. Beim Austritt der Luft 34 aus einem Ringspalt 42 zwischen den Düsenrohren 38, 40 wird die Druckenergie der Luft 38 in Geschwindigkeitsenergie umgewandelt — die Luft 34 entspannt sich und verwirbelt den Wasserstrahl, der aus dem inneren Düsenrohr 38 austritt. Es entsteht der Sprühstrahl 22 der aus einem feinen Gemisch aus Wassertröpfchen 45 und Luft 34 besteht.

Der Sprühstrahl 22 trifft auf eine Fläche des Substrats 8 auf, die auch den zu bearbeitenden Abschnitt 9 der Hornhaut umfaßt. Die Wassertröpfchen 45 schlagen sich auf der Oberfläche des Substrats 8 nieder und bilden eine Wasseransammlung 44. Das nachströmende Wasser 36 und insbesondere die nachströmende Luft 34 bewirken, daß das Wasser in der Wasseransammlung 44 relativ zur feststehenden Oberfläche des Substrats 8 mit einer Strömungsgeschwindigkeit nach außen fließt.

Im Bereich des Schnittpunkts der Strahlachse 16 mit der Oberfläche des Substrats 8 bildet sich somit ein Fließfilm 46 aus, der den Abschnitt 9 vollkommen überdeckt. Dieser Fließfilm 46 ist homogen, d. h. er bildet eine zusammenhängende Flüssigkeitsschicht. Seine Schichtdicke ist weitgehend konstant. Die Oberfläche des Fließfilms 46 ist glatt und ihre makroskopische Form entspricht der Gestalt der Oberfläche des Substrats 8. Der einfallende Laserstrahl 19 wird somit durch den Fließfilm 46 optisch nicht verzerrt.

Die Ausbildung des Wasserfilms 44 in Dicke und Abmessung kann durch gezieltes Verändern des Einfallswinkels des Sprühstrahls 22 auf den Abschnitt 9, durch Ändern des Abstands zwischen der Ringspaltdüse 20 und dem Abschnitt 9 sowie durch Ändern des Drucks oder der Durchflüßmengen von Wasser 36 und Luft gesteuert werden. Die Strömungsgeschwindigkeit des Wasserfilms 44 wird im wesentlichen durch die Strömungsgeschwindigkeit der Luft 34 im Sprühstrahl 22 bestimmt. Eine Vergrößerung des Abstandes zwischen der Ringspaltdüse 20 und dem Abschnitt 9 sowie eine Verringerung des Luftdrucks bewirken eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit der Luft 34. Damit verringert sich auch die Strömungsgeschwindigkeit des Wasserfilms 44. Ein geringerer Abfluß des Wassers 34 führt zu einer Zunahme der Dicke des Wasserfilms 44. Ferner führt auch eine Erhöhung der je Zeiteinheit zugeführten Menge an Wasser 36, wodurch der Sprühstrahl 22 mehr mit Wassertröpfchen 45 angereichert wird, zu einer Zunahme der Dicke des Wasserfilms 44.

Durch Abstimmen der vorgenannten Parameter aufeinander ist es möglich, Schichtdicken im Bereich von 1

bis 50 µm herzustellen, die im zu bearbeitenden Abschnitt 9 mindestens annähernd konstant sind. Erst außerhalb des Abschnitts 9 bilden sich an den Stellen 48 Wirbel aufgrund des abfließenden Wassers 34. Diese stören aber den Abtragungsvorgang nicht, da sie nicht im Bereich des Laserstrahls 19 liegen.

Beim Abtragen des Materials sendet der Laser 12 einen oder mehrere Strahlungsimpulse hoher Energiedichte auf den Abschnitt 9 aus. Der Laserstrahl 19 durchsetzt dabei den Wasserfilm 44 und dringt teilweise in das Substrat 8 an der gestrichelt eingezeichneten Zone 50 ein. Das Material wird an dieser Stelle aufgrund der absorbierten Strahlungsenergie erhitzt und verdampft oder mechanisch abgetrennt. Da der Wasserfilm 44 das abzutragende Material fortlaufend umspült, können sich in der Zone 50 keine trockenen Inseln ausbilden. Das Material wird somit entsprechend dem räumlichen Intensitätsprofil des Laserstrahls 19 geometrisch präzise abgetragen. Die nach dem Abtrag zurückbleibende Oberfläche ist glatt und regelmäßig; eine thermische Beschädigung dieser Oberfläche wird verringert.

Dadurch ist es möglich, den Laserstrahl 19 sehr energiereich auszulegen, so daß je Laserimpuls ein hohes Abtragvolumen erzielt wird. Beispielsweise kann dadurch die zum Abtragen von Hornhautgewebe zur Korrektur der Fehlsichtigkeit erforderliche Zahl von Laserimpulsen, die bei konventionellen Einrichtungen bei einigen hundert Impulsen liegt, auf etwa 1 bis 5 Impulse verringert werden. Das Auge des Patienten wird so geschont, und die mit wachsender Zahl an Impulsen größer werdende Gefahr von fehlerhaften Impulsen wird deutlich verringert.

Dem Wasser 36 ist ein Streumedium zugesetzt. Beim Durchgang des Laserstrahls 19 durch den Sprühstrahl 22 und den Fließfilm 46 gemäß Fig. 2 wird die Strahlung am Streumedium gestreut. Örtliche Intensitätsspitzen des Laserstrahls werden dabei abgeflacht. Über den Querschnitt des Laserstrahls 19 erfolgt ein Energieausgleich der Strahlung.

Dieser Effekt wird im folgenden anhand der Fig. 3a, b erläutert. In Fig. 3a ist die Intensität des Laserstrahls 19 längs seines Durchmessers d aufgetragen. In der Realität ist der Intensitätsverlauf nicht glatt, sondern aufgrund von Inhomogenitäten der elektrischen Feldverteilung im Laser mit einer Welligkeit behaftet. Vorhandene Intensitätsspitzen 60 erzeugen beim Abtragen von Material unerwünschte Oberflächenrauheiten auf der zurückbleibenden Oberfläche.

In der Fig. 3b ist der Intensitätsverlauf des Laserstrahls 19 nach Durchgang durch einen Wasserfilm aufgetragen, der mit Streumedium angereichert ist. Die Welligkeiten der Strahlungsintensität werden durch die Streuung geglättet. Ein derartiges Strahlprofil gewährleistet einen geometrisch präzisen Materialabtrag und hinterläßt glatte Oberflächen.

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Abtragen von Material von einem Substrat, mit einem Laser, der Strahlung auf eine die optische Achse des Lasers schneidende Arbeitsebene aussendet, in der ein zu bearbeitender Abschnitt des Substrats angeordnet werden kann, wodurch das die Strahlung absorbierende Material erhitzt und verdampft oder mechanisch abgetrennt wird, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine von der Arbeitsebene (14) beabstandete Sprühvorrichtung (10, 20) vorgesehen ist, die einen aus

einem Flüssigkeits-Gas-Gemisch bestehenden kontinuierlichen Sprühstrahl (22) erzeugt, dessen Strahlachse (16) die optische Achse (18) des Lasers (12) in der Arbeitsebene (14) schneidet.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sprühvorrichtung (10) eine Ring-spaltdüse (20) enthält, die ein inneres Düsenrohr (38), dem Flüssigkeit (36) zuführbar ist, und ein konzentrisch um das innere Düsenrohr (38) angeordnetes äußeres Düsenrohr (40) hat, dem Gas (34) zum Zerstäuben der Flüssigkeit (36) zuführbar ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die dem inneren Düsenrohr (38) zuführbare Durchflußmenge der Flüssigkeit (36) pro Zeiteinheit einstellbar ist und vorzugsweise im Bereich von 0,1 bis 5 ml/min liegt.

4. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dem äußeren Düsenrohr (40) zuführbare Durchflußmenge des Gases (34) pro Zeiteinheit einstellbar ist und vorzugsweise im Bereich von 0,5 bis 20 l/min, vorzugsweise im Bereich von 2 bis 10 l/min liegt.

5. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sprühstrahl (22) einen Öffnungswinkel mit einem Kegelswinkel (24) im Bereich von 3° bis 20° hat.

6. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der mittlere Abstand der Sprühvorrichtung (10, 20) von der Arbeitsebene (14) und/oder der Einfallswinkel des Sprühstrahls (16) auf die Arbeitsebene (14) einstellbar ist.

7. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Ringspaltdüsen (20) vorgesehen sind, die konzentrisch zur optischen Achse (18) des Lasers (12) angeordnet sind.

8. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich von 1,3 bis 15 µm aussendet.

9. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Laser (12) ein CO₂-Laser, ein Neodym-Laser, ein Thulium-Laser, ein Holmium-Laser oder ein Erbium-Laser vorgesehen ist.

10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser (12) ein im Impulsbetrieb arbeitender Laser ist.

11. Verfahren zum Abtragen von Material von einem Substrat, wobei auf einen zu bearbeitenden Abschnitt des Substrats die Strahlung eines Lasers gerichtet und das die Strahlung absorbierende Material erhitzt und verdampft oder mechanisch abgetrennt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Abschnitt (9) des Substrats (8) während der Bestrahlung mit einem Flüssigkeitsfilm (44, 46) überzogen wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Flüssigkeitsfilm (44, 46) relativ zum Substrat (8) mit einer vorgegebenen Strömungsgeschwindigkeit fließt.

13. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlung des Lasers (12) gepulst wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke des Flüssigkeitsfilms (44, 46) in dem zu bear-

beitenden Abschnitt (9) des Substrats (8) annähernd konstant ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke im Bereich von 1 bis 50 µm, vorzugsweise im Bereich von 4 bis 15 µm liegt.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Flüssigkeitsfilm (44, 46) aus Wasser (36) oder aus einer Kochsalzlösung besteht.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Flüssigkeitsfilm (44, 46) einen die Strahlung streuenden Stoff enthält, vorzugsweise Latex- oder Polyesterolkügelchen, die vorzugsweise einen Durchmesser annähernd der Wellenlänge der verwendeten Laserstrahlung ist.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zum Abtragen von biologischem Material der Flüssigkeitsfilm (44, 46) einen pharmazeutischen Wirkstoff enthält, vorzugsweise Antibiotikum, Anästhetikum und/oder Mydriatikum.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des Flüssigkeitsfilms annähernd gleich der Temperatur des Substrats (8) ist und/oder im Bereich von 0° bis 35° C, vorzugsweise im Bereich von 5° C bis 20° C liegt.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (8) Wasser mit der Konzentration im Bereich von 2 bis 90 Vol.% enthält.

21. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (8) ein biologischer Stoff, vorzugsweise organisches Gewebe, insbesondere Hornhaut-, Knochen- oder Knorpelgewebe ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

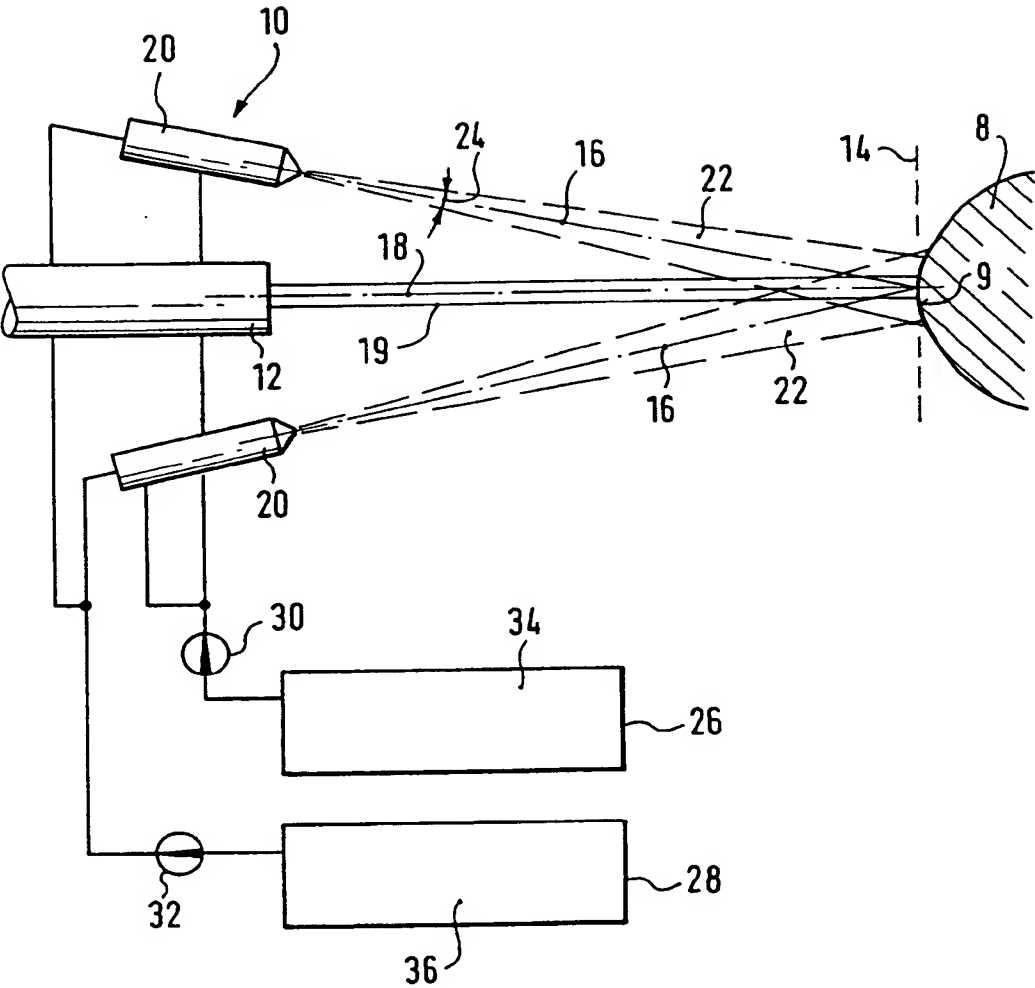


Fig. 1

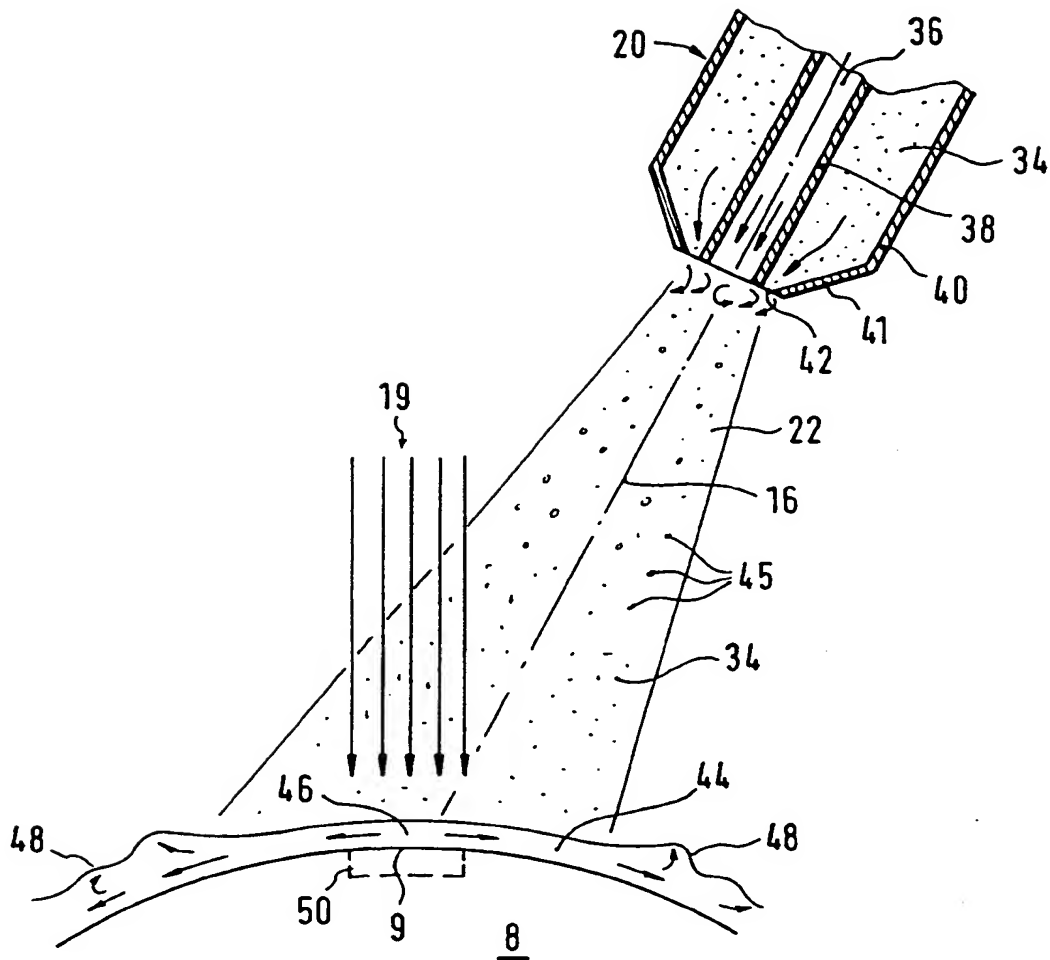


Fig. 2

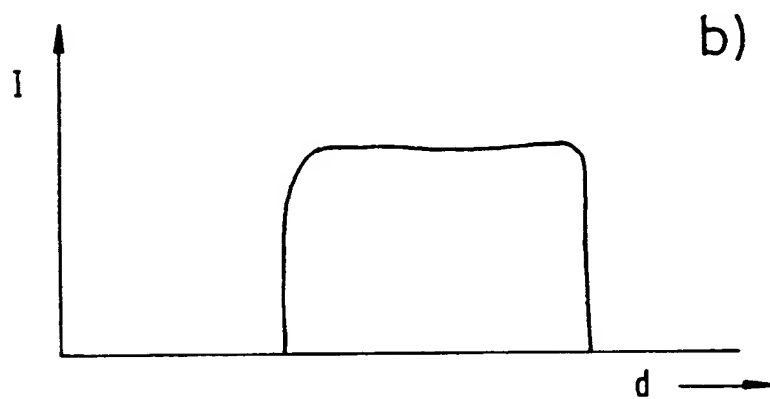
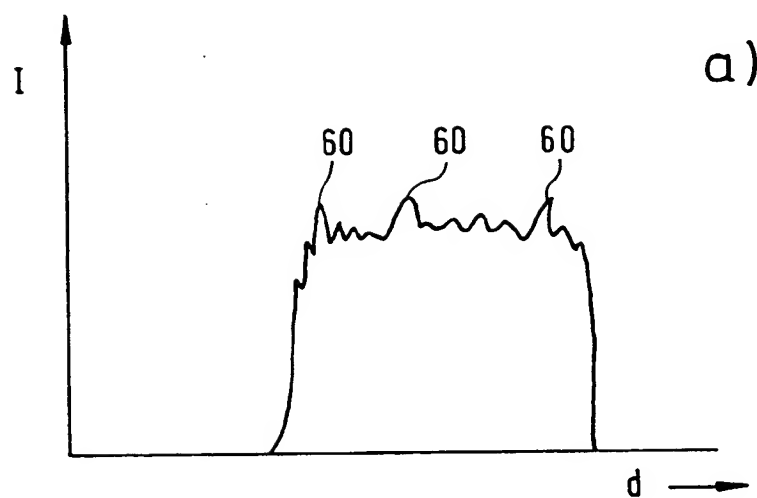


Fig.3